

IP20 Rec'd PCT/PTO 23 JAN 2006

**Способ и система предупреждения о возможности попадания
летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей**

Область техники

Изобретение относится к способам и устройствам обеспечения безопасности эксплуатации летательных аппаратов, в частности, к способам предупреждения и/или предотвращения нештатных ситуаций, связанных с возможным попаданием летательного аппарата в опасную зону возмущенного воздушного потока от другого объекта, так называемого вихревого следа, генерируемого объектом, в том числе, при обтекании объекта воздушным потоком.

Предшествующий уровень техники

Проблема обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов является весьма актуальной и включает в себя целый ряд как научно-технических, так и организационно-методических проблем. Одной из таких проблем является обеспечение безопасности полетов в условиях, когда фактором, определяющим уровень безопасности полетов, является воздействие на летательный аппарат аэродинамических струй высокой степени турбулентности, образующихся как при движении в окрестности летательного аппарата объекта, генерирующего струи, так и при наличии в окрестности летательного аппарата объектов, обтекаемых воздушными потоками, имеющими высокую степень турбулентности и завихренности.

Известно, что при движении летательного аппарата в воздушном пространстве образуется так называемый «вихревой след», формируемый обтекающим его воздушным потоком.

Попадание летательного аппарата в вихревой след другого объекта, например, другого летательного аппарата, приводит к значительному изменению углов атаки и скольжения. На летательный аппарат при этом воздействуют аэродинамические силы и моменты, которые могут, например, отбросить его в сторону от следа и при малых высотах, например, при посадке или взлете летательного аппарата, привести к нештатным ситуациям из-за невозможности компенсации такого воздействия органами управления летательного аппарата.

Появление в авиации летательных аппаратов, имеющих крылья малых удлинений с большой удельной нагрузкой, приводит к увеличению интенсивности вихревого следа, что соответственно увеличивает опасность попадания в него летательного аппарата.

Многочисленные исследования перемещения и затухания вихрей показали, что такие атмосферные факторы, как ветер, сдвиг ветра, стратификация и турбулентность, играют важную роль в этих процессах.

Существует потенциальная возможность оптимизации безопасных расстояний между летательными аппаратами в процессе посадки, взлета и полета на основе достоверного прогнозирования динамики вихревого следа с учетом текущего и краткосрочного прогноза соответствующих метеорологических условий, влияния атмосферных условий и близости земли на динамику вихревого следа.

Одним из основных направлений решения проблемы обеспечения безопасности полета летательного аппарата в условиях, когда определяющим фактором является вихревой аэродинамический след, является выбор режимов полета, обеспечивающих заданный уровень безопасности.

Способствовать решению этой задачи может создание бортовых вычислительных систем, работающих в реальном масштабе времени, определяющих степень опасности аэродинамических возмущений, действующих на летательный аппарат, позволяющих выбрать способ последующей коррекции управления летательным аппаратом с целью наиболее эффективной компенсации этих возмущений.

Другой задачей, которую можно отнести к информационным задачам, является задача предоставления пилоту информации о положении вихревого следа и положении летательного аппарата относительно него в прогнозируемый момент времени.

Известен способ и устройство создания визуальных отображений вихревых следов путем математического моделирования их на основе характеристик летательного аппарата, генерирующего вихревой след, с учетом влияния атмосферных условий на состояние вихревого следа. При этом, согласно техническому решению, в устройстве использован быстро реагирующий дисплей, на котором осуществляют визуализацию смоделированных вихревых следов от каждого летательного аппарата, находящегося вблизи указанного летательного аппарата (US, 5,845,874, А). Однако, при наличии в окружении летательного аппарата большого количества других летательных аппаратов, например, вблизи аэродрома, дисплей будет показывать большое количество смоделированных вихревых следов, что приведет к трудности определения, какие из вихревых следов представляют для летательного аппарата реальную опасность и какие из них можно игнорировать.

Одним из наиболее перспективных путей повышения безопасности полета является предоставление пилоту в реальном масштабе времени информации о прогнозируемом положении вихревых следов, попадание в которые может привести к летному происшествию.

Известна система предупреждения о турбулентности следа, предназначенная для размещения на борту летательных аппаратов, предусматривающая информирование экипажа летательного аппарата о потенциальном входе в вихревой след другого летательного аппарата только тогда, когда система определит, что вход указанного летательного аппарата в вихревой след другого летательного аппарата произойдет через определенный заданный промежуток времени (US, 6,177,888, A). При этом система предусматривает взаимодействие этих летательных аппаратов между собой, обмен предупреждающими сигналами и информацией о высоте полета, дистанции и пеленге, отслеживание траектории полета объема вихревого следа с учетом местной скорости ветра и имеет возможность определять расстояние или время до входа летательного аппарата в объем вихревого следа другого летательного аппарата. Система обеспечивает индикацию о близости к объему вихревого следа, когда расстояние или время до такого входа становится меньше заданного порога. При этом ширину и высоту объема вихревого следа вычисляют в каждой точке из множества точек вдоль траектории вихревого следа в виде функции расстояния от указанной точки до соседнего летательного аппарата.

Однако такая система не решает задачи информирования пилота о степени опасности попадания в выявленные вихревые следы и о рациональном маневре летательного аппарата для исключения попадания в вихревой след.

Кроме того, многообразие условий эксплуатации летательных аппаратов требует уменьшения дистанций между летательными аппаратами, например, при последовательном взлете или посадке летательных аппаратов на аэродромах, что является важным для увеличения пропускной способности аэродромов.

Достоверное знание положения и структуры вихревого следа и особенностей его воздействия на летательный аппарат в прогнозируемый момент времени будет способствовать удовлетворению противоречивых требований повышения эффективности выполнения летных задач и повышения безопасности полетов.

Известна система предупреждения столкновений с вихревым следом, устанавливаемая на каждом летательном аппарате для предупреждения пилота летательного аппарата о прогнозируемой опасности присутствия в окружающем

летательный аппарат пространстве другого летательного аппарата (US, 6211808, B1), представляющая собой сферическую антенну, выполненную из диэлектрического материала, имеющую восемь секторов с установленными в них приемными устройствами для получения микроволновых сигналов, отраженных от других летательных аппаратов, находящихся в его окрестности. Однако такая система является дорогой и не предоставляет пилоту информацию о наличии опасных воздушных возмущений.

Известно техническое решение, касающееся схемы и способа предупреждения пересечения пути самолета с вихревым следом другого самолета (WO 00/71985), заключающееся в определении положения, конфигурации и вида вихревых возмущений, вызванных другим самолетом, присутствие которого обнаруживается с помощью информации от бортовых система первого самолета, информации от другого самолета или информации с аэродрома, определение его высоты, предсказанного положения генерируемого им вихревого следа с учетом атмосферных условий, в частности, скорости и направления ветра, температуры воздуха, выверка полученных данных со справочной таблицей или моделирование вихревого следа с визуализацией положения и его траектории относительно первого самолета, предсказание точки пересечения траектории вихревого следа и пути движения первого самолета с выработкой сигнала опасности в случае такого пересечения. В основном, способ используется для обеспечения безопасности движения двух самолетов в зоне аэропорта и реализация его может приводить к увеличению высоты полета первого самолета над вторым самолетом. При этом используются системы Traffic Alert и Collision Avoidance. Однако, при этом пилоту первого самолета визуализируется информация обо всех областях завихренности, предполагаемых в районе движения первого самолета из-за присутствия второго самолета, что не дает пилоту картины истинной опасности этих завихренностей для его полета.

Известно, что Национальная администрация по авиации и космонавтике США (NASA) уделяет большое внимание повышению эффективности зоны аэродрома, в частности, при взлете и посадке летательных аппаратов, и одним из направлений разработок являются работы по созданию Системы определения вихревого интервала (AVOSS), которая будет объединять выходы различных систем и выработать зависящие от погодных условий динамические критерии величин интервалов вихревых следов (37th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, January 11-14, 1999, Reno, NV, NASA Langley Research Center, Hampton, VA) Эти системы представляют текущие и

прогнозируемые погодные условия, модели перемещения вихревого следа и его затухания в этих погодных условиях от поверхности земли до высоты посадочной или взлетной глиссады, а также осуществляют обратную связь поведения вихревых следов в реальном времени. Поведение следа сравнивают с определенными заранее размерами коридора безопасности и определением умирания следа, в результате чего находят искомые интервалы разделения для самолетов. Если следы продолжают существовать дольше, чем ожидалось, то уменьшение интервалов между взлетом самолетов или их посадкой запрещают. При этом поведение следа вычисляют на множестве «окон» захода на посадку от высоты глиссады до торца взлетно-посадочной полосы. Однако, в этой системе имеется ряд ограничений, таких, как отсутствие учета вертикального сдвига ветра, который может препятствовать опусканию следа или привести к его подъему, отсутствие учета конкретного масштаба турбулентности, необходимого для моделирования затухания следа, и другие, которые могут привести к нештатной ситуации вследствие несоответствия заранее предоставленных диспетчеру вычисленных параметров следа и фактических параметров следа. Кроме того, применение системы AVOSS приведет к увеличению нагрузки на диспетчеров полетов, которые и в настоящих условиях испытывают значительные эмоционально-стрессовые нагрузки, а также к интенсификации их труда, что является нежелательным, так как увеличивает возможность принятия диспетчерами неадекватных решений.

Следует иметь в виду, что зарубежные системы безопасности в основном ориентированы на применение так называемых инструментальных правил полета, когда управление летательным аппаратом осуществляется на основе команд диспетчера полета, реализуемых в директорном или автоматическом режиме на борту летательного аппарата.

Однако известно, что в операторской деятельности наиболее сложным является принятие решения в экстремальной ситуации. Оно состоит из двух этапов: опознания ситуации и определения порядка действий по ее ликвидации. Перед выполнением каждого следующего действия оператор должен предвидеть свои последующие шаги. Восприятие визуальных или речевых сигналов в словесной форме из долговременной памяти, со средств отображения или на слух требует определенного времени в условиях дефицита времени. Время восприятия графических символов значительно меньше, и опознание ситуации при индикации выделенных зон изображения позволяет также повысить адекватность принятия решения.

Кроме того, воздействие такого физического фактора, как ускорение, вызывает снижение мозгового кровообращения у пилота, что в условиях нервно-эмоционального перенапряжения может вызвать даже кратковременное отключение сознания. Поэтому предоставление пилоту или диспетчеру полета информации, необходимой для принятия решения, до наступления момента принятия решения и в графических символах является предпочтительным.

Раскрытие изобретения

Целью создания настоящего изобретения является создание системы предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа, генерируемого объектом, находящимся в окрестности летательного аппарата и называемого «генератором вихрей». При этом в качестве генераторов вихрей рассматриваются не только летательные аппараты, но и наземные и надводные объекты, вихревой след которых может быть опасным для летательного аппарата. Совокупность точек пространства, при попадании в которую действующие на летательный аппарат силы и моменты могут привести к опасной ситуации, охарактеризована как «опасная зона вихревого следа».

При создании изобретения была поставлена задача разработки способа и устройства предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную, с точки зрения конструкции и условий эксплуатации летательного аппарата, зону вихревого следа, которые обеспечили бы предоставление информации о наличии в окрестности летательного аппарата вихревых следов, представляющих опасность для летательного аппарата, их перемещении и возможных направлениях выхода летательного аппарата из опасных зон путем определения прогнозируемого положения летательного аппарата и опасной зоны вихревого следа генератора вихрей в некотором контрольном сечении впереди по курсу летательного аппарата, на расстоянии, за время преодоления которого летательный аппарат, в случае опасности, может произвести маневр уклонения от опасной зоны вихревого следа. При этом расположение вихревого следа в пространстве целесообразно определять с учетом динамики изменения параметров окружающей среды, а положение летательного аппарата в пространстве - с учетом изменения его конфигурации и установленных нормативов производства полета.

Под изменением конфигурации летательного аппарата понимается, например, изменение режима работы двигателей, в том числе, отказ одного или нескольких двигателей, изменение геометрии летательного аппарата, например, стреловидности

крыла, обледенение поверхности летательного аппарата и другие изменения, приводящие к изменению режима обтекания его набегающим потоком и, следовательно, к изменению аэродинамических сил и моментов, обусловленных воздействием аэродинамических возмущений, в том числе, вихревого следа, а также к изменению возможностей летательного аппарата по компенсации таких воздействий.

Была также поставлена задача создания устройства для реализации способа предупреждения согласно изобретению.

Поставленная задача была решена созданием способа предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей, в котором:

- получают информацию о конфигурации, местонахождении и ориентации летательного аппарата относительно инерциальной системы координат в текущий момент времени;
- получают информацию о положении, геометрических и массовых характеристиках и о параметрах движения генератора вихрей относительно инерциальной системы координат в текущий момент времени;
- сохраняют информацию о положении и параметрах движения генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- получают информацию о параметрах окружающей среды в области совместного размещения летательного аппарата и генератора вихрей в текущий момент времени;
- определяют траекторию вихревого следа генератора вихрей как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, и интенсивность вихревого следа в инерциальной системе координат в текущий момент времени;
- сохраняют информацию о координатах точек траектории и об интенсивности вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- выбирают время упреждения, в течение которого возможно, по меньшей мере, выполнение маневра изменения траектории полета летательного аппарата, обеспечивающего уклонение летательного аппарата от опасной зоны вихревого следа генератора вихрей после предупреждения о возможности попадания в нее;
- вычисляют упреждающее расстояние, равное расстоянию, преодолеваемому летательным аппаратом за время упреждения, моделируют контрольную плоскость, расположенную в пространстве перед летальным аппаратом перпендикулярно

направлению его движения на упреждающем расстоянии от летательного аппарата, и определяют прогнозируемый момент времени пролета летательного аппарата через указанную контрольную плоскость в инерциальной системе координат;

- определяют геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, в прогнозируемый момент времени;
- определяют траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, относительно инерциальной системы координат в прогнозируемый момент времени;
- определяют координаты точки пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с указанной контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени пролета летательного аппарата через нее;
- формируют вокруг указанной точки пересечения опасную зону вихревого следа как совокупность опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором, при попадании в которую у летательного аппарата параметры движения могут превысить допустимые пределы; формируют в указанной контрольной плоскости область прогнозируемых с учетом установленных нормативов производства полета положений летательного аппарата в прогнозируемый момент времени пересечения летательным аппаратом указанной контрольной плоскости; формируют вокруг области прогнозируемых положений область повышенного внимания, информация о попадании в которую опасной зоны вихревого следа будет предоставлена пользователю;
- определяют координаты точек области прогнозируемых положений летательного аппарата, точек области повышенного внимания и точек опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом;
- вычисляют расстояние от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа;
- вычисляют расстояние от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа;
- осуществляют для пользователя индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа указанного генератора вихрей;

- осуществляют для пользователя аварийную индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа указанного генератора вихрей.

При этом в способе, согласно изобретению:

- в качестве информации о положении, геометрических и массовых характеристиках и параметрах движения генератора вихрей, предпочтительно, используют информацию о типе генератора вихрей, скорости его перемещения, угловой скорости и координатах точек его траектории;
- сохраняют информацию о координатах точек траектории, скорости перемещения и угловой скорости генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- в качестве информации о параметрах окружающей среды, предпочтительно, используют информацию о величине и направлении локальной скорости ветра, о профиле ветра по высоте, степени турбулентности, типе подстилающей поверхности;
- траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей в текущий момент времени как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, определяют расчетным путем на основе сохраненной информации о типе генератора вихрей, координатах точек его траектории, скорости перемещения и угловой скорости или на основе инструментальных измерений;
- моделирование контрольной плоскости осуществляют на основе информации о местонахождении, ориентации, скорости перемещения летательного аппарата и выбранной величине времени упреждения в текущий момент времени в инерциальной системе координат;
- определение геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа генератора вихрей как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором, осуществляют на основе сохраненной информации о координатах точек траектории и интенсивности следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности в инерциальной системе координат, информации о положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат;
- траекторию и интенсивность вихревого следа указанного генератора вихрей в прогнозируемый момент времени определяют на основе информации о траектории и интенсивности вихревого следа указанного генератора вихрей как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором, в инерциальной системе координат;

- определение координат точек пересечения траектории вихревого следа указанного генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени осуществляют на основе информации о координатах контрольной плоскости в инерциальной системе координат и о траектории вихревого следа указанного генератора вихрей в инерциальной системе координат в прогнозируемый момент времени;
- формирование в контрольной плоскости опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, области прогнозируемых положений летательного аппарата и области повышенного внимания осуществляют на основе информации о координатах точек пересечения вихревого следа указанного генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени, информации о геометрических характеристиках опасной зоны вихревого следа указанного генератора как совокупности опасных зон областей завихрения, генерируемых указанным генератором, информации о положении, ориентации, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета;
- определение координат области прогнозируемых положений летательного аппарата, координат области повышенного внимания и координат опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом, осуществляют на основе информации о координатах области повышенного внимания, области прогнозируемых с учетом установленных нормативов производства полета положений летательного аппарата и опасной зоны вихревого следа в прогнозируемый момент времени и информации о координатах летательного аппарата и его положении, предпочтительно, углах тангажа, рыскания и крена летательного аппарата, в инерциальной системе координат в текущий момент времени.

При реализации способа предупреждения о возможности попадания в опасную зону вихревого следа согласно изобретению пользователю предоставляется лишь необходимая ему информация о вихревых следах, достаточная для выполнения в дальнейшем эффективного маневра, предотвращающего попадание летательного аппарата в вихревой след. Путем предварительной обработки информации о вихревом следе, реализованной в настоящем изобретении, удастся сократить объем индуцированной информации, оставляя лишь полезную часть ее. В результате обеспечивается адекватное восприятие пользователем, например, пилотом, пространственного положения летательного аппарата относительно вихревого следа в прогнозируемый момент времени, что дает возможность своевременно принять меры

для предотвращения попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа. Кроме того, преимуществом такого способа предупреждения является возможность учета изменений действующих на летательный аппарат аэродинамических сил и моментов, вызванных изменением его конфигурации, поскольку обеспечивается адаптация операций способа к условиям внешней обстановки, характеристикам полета, режимам функционирования систем летательного аппарата.

Согласно изобретению, целесообразно операции способа предупреждения осуществлять одновременно в отношении каждого из генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

Кроме того, в способе предупреждения, согласно изобретению, целесообразно осуществлять текущую коррекцию выбранного времени упреждения, что позволяет учитывать специфику режима полета и решаемой полетной задачи.

Кроме того, в способе предупреждения, согласно изобретению, целесообразно осуществлять текущую коррекцию координат области прогнозируемых положений летательного аппарата, что позволяет разрешать ситуации неопределенности поступающей информации путем соответствующего изменения размеров области прогнозируемых положений летательного аппарата.

Кроме того, в способе предупреждения, согласно изобретению, целесообразно осуществлять текущую коррекцию координат области повышенного внимания, что позволяет скорректировать время принятия решения о выполнении соответствующего маневра уклонения от вихревого следа.

При этом, согласно изобретению, целесообразно осуществлять указанную коррекцию в ручном режиме, полуавтоматическом или автоматическом режиме.

Кроме того, согласно изобретению, целесообразно предоставлять пользователю информацию о координатах контрольной плоскости, области повышенного внимания, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

При этом, согласно изобретению, целесообразно визуализировать для пользователя информацию о расположении в контрольной плоскости области прогнозируемых положений летательного аппарата и информацию о расположении опасных зон вихревого следа генераторов вихрей.

Кроме того, согласно изобретению, желательно индикацию равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа

генератора вихрей в контрольной плоскости и/или аварийную индикацию равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей осуществлять с помощью индикации, выбранной из группы, включающей визуальную индикацию, аудио-индикацию и тактильную индикацию.

Кроме того, согласно изобретению, целесообразно сохранение информации о величине выбранного времени упреждения, координатах контрольной плоскости, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей в течение времени аварийной индикации события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

Поставленная задача была также решена созданием системы предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей, включающей:

- устройство слежения за параметрами летательного аппарата, способное принимать информацию о конфигурации, местонахождении и ориентации летательного аппарата относительно инерциальной системы координат в текущий момент времени;
- устройство слежения за генератором вихрей, способное принимать информацию о положении, геометрических и массовых характеристиках и о параметрах движения генератора вихрей относительно той же системы координат в текущий момент времени,;
- запоминающее устройство, способное сохранять информацию о положении и параметрах движения генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- детектор параметров среды, способный принимать информацию о параметрах окружающей среды в области совместного размещения летательного аппарата и генератора вихрей в текущий момент времени;
- устройство слежения за вихревым следом, способное определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей как совокупность траекторий центров областей завихренности в инерциальной системе координат;
- запоминающее устройство, способное сохранять информацию о координатах точек траектории и интенсивности вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности в инерциальной системе координат;
- устройство выбора времени упреждения, способное вычислять время, в течение которого, по меньшей мере, возможно выполнение маневра изменения траектории

полета летательного аппарата, обеспечивающего уклонение летательного аппарата от вихревого следа генератора вихрей после предупреждения о возможности попадания в него;

- устройство моделирования контрольной плоскости, способное вычислять упреждающее расстояние, равное расстоянию преодолеваемому летательным аппаратом за выбранное время упреждения, формировать контрольную плоскость, расположенную в пространстве перед летательным аппаратом перпендикулярно направлению его движения на упреждающем расстоянии от летательного аппарата, и определять прогнозируемый момент времени пролета летательного аппарата через контрольную плоскость в инерциальной системе координат;
- устройство определения параметров опасной зоны, способное определять геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, в прогнозируемый момент времени;
- устройство прогнозирования, способное определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, вихревого следа относительно инерциальной системы координат в прогнозируемый момент времени;
- устройство вычисления точек пересечения, способное определять координаты точек пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с контрольной плоскостью. в прогнозируемый момент времени пересечения летательным аппаратом указанной контрольной плоскости;
- устройство формирования зон и областей, обеспечивающее формирование вокруг точки пересечения траектории вихревого следа с контрольной плоскостью опасной зоны вихревого следа как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, при попадании в которую у летательного аппарата параметры движения могут превысить допустимые пределы, формирование в указанной контрольной плоскости области прогнозируемых с учетом установленных нормативов производства полета положений летательного аппарата в прогнозируемый момент времени пересечения летательным аппаратом контрольной плоскости; формирование вокруг области прогнозируемых положений область повышенного внимания, информация о попадании в которую опасной зоны вихревого следа должна быть предоставлена пользователю;

- блок перехода, способный вычислять координаты области прогнозируемых положений летательного аппарата, области повышенного внимания и опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом;
- первый блок проверки условия пересечения, способный определять расстояние от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа и фиксировать момент равенства его нулю;
- второй блок проверки условия пересечения, способный определять расстояние от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа и фиксировать момент равенства его нулю;
- устройство индикации, обеспечивающее индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей;
- устройство аварийной индикации, обеспечивающее индикацию события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

При этом, согласно изобретению, в системе предупреждения:

- устройство слежения за параметрами летательного аппарата способно принимать информацию, по меньшей мере, о конфигурации, координатах, скорости перемещения, углах тангажа, рыскания и крена летательного аппарата;
- устройство слежения за генератором вихрей способно принимать информацию, по меньшей мере, о типе генератора вихрей, скорости его перемещения, угловой скорости и координатах точек его траектории;
- детектор параметров среды способен принимать информацию, по меньшей мере, о величине и направлении локальной скорости ветра, профиле ветра по высоте, степени турбулентности, типе подстилающей поверхности;
- устройство слежения за вихревым следом способно определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей как совокупность траекторий центров областей завихренности на основе сохраненной информации о типе генератора вихрей, координатах точек его траектории, скорости перемещения и угловой скорости;
- устройство моделирования контрольной плоскости способно моделировать контрольную плоскость на основе информации о местонахождении, ориентации, скорости перемещения летательного аппарата и величины времени упреждения;

- устройство определения параметров опасной зоны способно определять геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей на основе сохраненной информации о координатах точек траектории и интенсивности следа генератора вихрей, информации о конфигурации, положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат;
- устройство прогнозирования способно определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей на основе информации о траектории и интенсивности вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, в инерциальной системе координат;
- устройство вычисления точек пересечения способно определять координаты точек пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с контрольной плоскостью на основе информации о координатах контрольной плоскости и траектории вихревого следа в инерциальной системе координат в прогнозируемый момент времени;
- устройство формирования зон и областей способно формировать опасную зону вихревого следа, область прогнозируемых положений летательного аппарата и область повышенного внимания на основе информации о координатах точек пересечения вихревого следа генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени, информации о геометрических характеристиках опасной зоны как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, информации о положении, ориентации, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета в инерциальной системе координат;
- блок перехода способен вычислять координаты области прогнозируемых положений летательного аппарата, области повышенного внимания и опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом, на основе информации о координатах области повышенного внимания, области прогнозируемых положений и опасной зоны вихревого следа в прогнозируемый момент времени в инерциальной системе координат и информации о координатах летательного аппарата и его положении, предпочтительно, углах тангажа, рыскания и крена, в инерциальной системе координат в текущий момент времени.

При этом, согласно изобретению, целесообразно, чтобы система предупреждения содержала устройство слежения за генератором вихрей,

запоминающие устройства, устройство слежения за вихревым следом, устройство определения параметров опасной зоны, устройство прогнозирования, устройство вычисления точек пересечения, устройство формирования зон и областей, первый и второй блоки проверки условия пересечения, устройство индикации и устройство аварийной индикации, способные одновременно обеспечить выполнение своих функций в отношении каждого из генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

Кроме того, согласно изобретению, желательно, чтобы устройство выбора времени упреждения было выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции времени упреждения.

Кроме того, согласно изобретению, желательно, чтобы устройство формирования зон и областей было выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции координат области прогнозируемых положений летательного аппарата.

Кроме того, согласно изобретению, желательно, чтобы устройство формирования зон и областей было выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции координат области повышенного внимания.

При этом, согласно изобретению, целесообразно коррекцию времени упреждения, координат области прогнозируемых положений летательного аппарата и координат области повышенного внимания осуществлять в режиме ручного или полуавтоматического регулирования.

Кроме того, согласно изобретению, возможно указанную коррекцию осуществлять в автоматическом режиме.

Такое выполнение устройств системы предупреждения обеспечивает гибкость его применения как в условиях ручного управления летательным аппаратом, так и при использовании системы автоматического управления (далее – САУ) летательным аппаратом.

Кроме того, согласно изобретению, целесообразно, чтобы система предупреждения содержала устройство визуализации для пользователя информации о расположении в контрольной плоскости области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей.

При этом, согласно изобретению, устройство индикации и устройство аварийной индикации могут быть выбраны из группы, включающей устройства визуальной, аудио-индикации и тактильной индикации.

Кроме того, согласно изобретению, система предупреждения в качестве устройства определения параметров опасной зоны вихревого следа генератора вихрей может содержать устройство, включающее:

- блок схематизации летательного аппарата, способный на основе информации о конфигурации, координатах, скорости перемещения, углах тангажа, рыскания и крена летательного аппарата вычислять совокупность геометрических характеристик летательного аппарата, необходимых для расчета действующих на него дополнительных аэродинамических сил и моментов, индуцированных вихревым следом генератора вихрей;
- блок определения действующих на летательный аппарат в заданной точке пространства аэродинамических сил и моментов, индуцированных вихревым следом генератора вихрей, способный вычислять их на основе сохраненной информации о координатах точек траектории вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности и интенсивности следа генератора вихрей в инерциальной системе координат, информации о конфигурации, положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат и о геометрических характеристиках летательного аппарата;
- блок определения опасности аэродинамических возмущений в заданной точке пространства, способный производить оценку опасности возмущений по критерию опасности, установленному пользователем;
- блок определения множества точек пространства, в которых аэродинамические силы и моменты, индуцированные вихревым следом генератора вихрей, являются опасными, способный определять координаты точек пространства, принадлежащих опасной зоне, на основе отбора их по критерию опасности, установленному пользователем;
- блок определения геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа, способный вычислять их на основе информации о координатах точек, принадлежащих опасной зоне.

Такое выполнение системы предупреждения с применением устройства определения параметров опасной зоны вихревого следа согласно изобретению позволяет при выборе критерия опасности учитывать особенности конфигурации и режима полета летательного аппарата и квалификацию пилота.

При этом, согласно изобретению, в качестве критерия опасности может быть выбрана допустимая величина угла крена летательного аппарата.

Кроме того, согласно изобретению, в качестве критерия опасности может быть выбрана допустимая величина момента крена, индуцируемого вихревым следом.

При этом, согласно изобретению, целесообразно, чтобы блок определения геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа был способен аппроксимировать границу опасной зоны, что позволяет упростить визуализацию опасной зоны вихревого следа в устройстве визуализации.

При этом, согласно изобретению, устройство слежения за вихревым следом и устройство прогнозирования содержат программируемый компонент, а устройство определения параметров опасной зоны реализовано в программном обеспечении программируемого компонента.

Кроме того, согласно изобретению, устройство определения параметров опасной зоны может содержать базу данных, содержащую характеристики опасных зон вихревых следов различных типов генераторов в различных условиях полета.

Кроме того, согласно изобретению, система предупреждения может содержать устройство сохранения информации о величине времени упреждения, координатах контрольной плоскости, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей в течение времени аварийной индикации события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием примера осуществления способа предупреждения согласно изобретению с помощью системы предупреждения согласно изобретению, не ограничивающего применение изобретения и не выходящего за рамки объема изобретения, и прилагаемыми чертежами, на которых:

Фиг.1- схематичное изображение в пространстве летательного аппарата, генератора вихрей, генерируемого им вихревого следа и отображаемой в контрольной плоскости информации согласно способу предупреждения в соответствии с описанным примером реализации изобретения;

Фиг.2 - схема осуществления способа предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей согласно изобретению с помощью системы предупреждения согласно изобретению;

Фиг.3 – схема выполнения устройства определения параметров опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, согласно изобретению;

Фиг.4 – схема изображения информации на дисплее навигационной карты, предоставляемой системой предупреждения согласно изобретению.

Вариант осуществления изобретения

В качестве примера описан вариант осуществления изобретения, изображенный на схеме Фиг.1, когда система предупреждения реализована в составе штатного оборудования на борту одного летательного аппарата (далее ЛА), генератором вихрей является другой летательный аппарат (далее ГВ) и пользователем информации является экипаж ЛА. При описании используется конкретная терминология, однако необходимо иметь в виду, что каждый термин охватывает все эквивалентные термины, используемые в решении аналогичных задач.

При осуществлении способа предупреждения о возможности попадания ЛА в опасную зону вихревого следа ГВ, согласно изобретению, формируют в некоторой контрольной плоскости объем информации о расположении ЛА в пространстве в прогнозируемый момент времени на рассчитанном упреждающем расстоянии впереди ЛА и возможном расположении вокруг него вихревых следов ГВ, которые будут являться для ЛА опасными. При этом, согласно изобретению, информация скорректирована с учетом условий окружающей среды в месте расположения контрольной плоскости.

Согласно схеме Фиг.2, в описываемой системе предупреждения о возможности попадания ЛА в опасную зону вихревого следа ГВ, согласно изобретению, устройство 1 слежения за параметрами ЛА, реализованное, например, в компьютере системы автоматического управления полетом ЛА (далее САУ ЛА), принимает, например, от пилотажно-навигационной системы ЛА, информацию о конфигурации, координатах, скорости перемещения, угловой скорости ЛА, углах тангажа, рыскания и крена в текущий момент времени t в инерциальной системе координат (далее ИСК).

Устройство 2 слежения за ГВ, реализованное, например, в компьютере САУ ЛА, принимает, например, от бортовой радиолокационной станции ЛА, от радиолокатора переднего обзора или от наземного диспетчера, или по мультиплексному каналу информационного обмена а запоминающее устройство 3 сохраняет, информацию о типе ГВ, скорости его перемещения, угловой скорости и координатах точек его траектории в ИСК.

Детектор 4 параметров среды, реализованный, например, в компьютере пилотажно-навигационной системы, принимает, например, от системы воздушных сигналов СВС или от диспетчера полета, информацию о величине и направлении

локальной скорости ветра, профиле ветра по высоте, степени турбулентности, типе подстилающей поверхности в области совместного размещения ЛА и ГВ, относительно ИСК в текущий момент времени t .

Устройство 5 слежения за вихревым следом, реализованное, например, в компьютере САУ ЛА, на основе информации от запоминающего устройства 3 вычисляет траекторию и интенсивность вихревого следа ГВ как совокупность траекторий центров областей завихренности в ИСК, например, с помощью алгоритмов, таких, как известный алгоритм вычисления траектории и интенсивности вихревого следа (Northwest Research Associates, Inc., Aircraft Vortex Spacing System (AVOSS), Algorithm Version 3.1.1), обеспечивающий вычисление координат центров областей завихренности на основе интегрирования дифференциального уравнения, описывающего эволюцию областей завихренности в пространстве и времени. Запоминающее устройство 6 сохраняет эти данные.

Параметры координат областей завихренности также могут быть определены с помощью инструментальных измерений, например, с помощью лазерных радиолокационных устройств типа лидар, измерений и оценкой величины тангенциальных скоростей воздушного потока с последующим вычислением траектории и интенсивности вихревого следа.

Устройство 7 выбора времени упреждения, например, реализованное в компьютере САУ ЛА, вычисляет время упреждения, необходимое для выполнения маневра по изменению траектории ЛА. Это выбранное время упреждения, согласно изобретению, может быть откорректировано в текущем режиме с помощью ручного регулирования, полуавтоматического или автоматического регулирования с учетом, например, квалификации пилота или особенностей поставленной полетной задачи.

Устройство 8 моделирования контрольной плоскости (далее – КП) на основе информации от устройства 1 о координатах, скорости перемещения, углах тангажа, рыскания и крена ЛА и информации от устройства 7 о выбранной величине времени упреждения вычисляет упреждающее расстояние, равное расстоянию, преодолеваемому летательным аппаратом за выбранное время упреждения, моделирует КП, расположенную в пространстве перед ЛА перпендикулярно направлению его движения на упреждающем расстоянии от ЛА, например, в виде коэффициентов уравнения плоскости КП в ИСК, и определяет прогнозируемый момент времени $t+\Delta t$ пролета ЛА через КП в ИСК. В качестве устройства 8 может

быть использовано любое вычислительное устройство, позволяющее производить такие вычисления, например, компьютер на борту ЛА.

Устройство 9 прогнозирования на основе информации о траектории и интенсивности вихревого следа ГВ, сохраненной в устройстве 6, и прогнозируемом моменте времени от устройства 7 вычисляет координаты траектории и интенсивность вихревого следа ГВ как совокупности траекторий центров областей завихренности в прогнозируемый момент времени $t+\Delta t$ в ИСК.

Устройство 10 определения параметров опасной зоны на основе информации от устройства 1 о координатах, скорости перемещения и угловой скорости ЛА и от запоминающего устройства 6 о координатах точек траектории и интенсивности вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых ГВ определяет в соответствии с выбранным критерием опасности геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа ГВ как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых ГВ, в прогнозируемый момент времени $t+\Delta t$. При этом в качестве критерия опасности, согласно изобретению, может быть выбрана допустимая величина угла крена ЛА или, например, допустимая величина момента крена, индуцируемого вихревым следом ГВ.

При этом, согласно изобретению, устройство 5 слежения за вихревым следом и устройство 9 прогнозирования могут содержать программируемый компонент, в данном случае- траектория и интенсивность вихревого следа ГВ, а устройство 10 реализовано в программном обеспечении этого компонента – базе данных о рассчитанных геометрических характеристиках опасных зон вихревых следов различных типов ГВ в зависимости от различных условий окружающей среды и параметров движения ГВ, аэродинамических сил и моментов, индуцированных на ЛА вихревыми следами различной интенсивности, например, моментов крена.

Устройство 11 (Фиг.2), реализованное, например, в компьютере бортовой пилотажно-навигационной системы, на основе информации о координатах КП вычисляет координаты точек пересечения траектории вихревого следа ГВ с КП в прогнозируемый момент времени $t+\Delta t$ на основе информации о координатах КП от устройства 8 и информации от устройства 9 о траектории вихревого следа, например, путем выбора точек траектории вихревого следа, расположенных по разные стороны КП, с интерполяцией расстояния между ними.

Устройство 12 формирования зон и областей, размещенное, например, в составе компьютера бортовой инерциальной навигационной системы ЛА, формирует вокруг

точки пересечения траектории вихревого следа ГВ с КП опасную зону вихревого следа, область прогнозируемых с учетом установленных нормативов производства полета положений летательного аппарата (далее ОПП ЛА) в прогнозируемый момент времени $t+\Delta t$ и область повышенного внимания (далее ОПВ), как совокупность множества точек на контрольной плоскости. Согласно изобретению, устройство 12 позволяет осуществлять текущую коррекцию координат ОПП ЛА и ОПВ, что является важным для пилота при координировании маневра уклонения с ситуацией выполнения полетного задания.

Блок перехода 13 вычисляет координаты ОПП ЛА, опасной зоны вихревого следа ГВ и ОПВ в связанной с ЛА системе координат.

Затем первый блок 14 проверки условия пересечения вычисляет расстояние от ОПВ до опасной зоны вихревого следа, отслеживая событие равенства его нулю, а второй блок 15 проверки условия пересечения вычисляет расстояние от ОПП до опасной зоны вихревого следа ГВ, отслеживая событие равенства его нулю.

Информация о равенстве нулю в прогнозируемый момент времени указанных расстояний поступает на установленные у пользователя, например, в кабине ЛА для пилота, устройства индикации 16 и 17, например, в устройство 16 аудио-индикации в случае равенства нулю расстояния между областью ОПВ и опасной зоной вихревого следа, а затем, например, в устройство 17 аварийной тактильной индикации в случае равенства нулю расстояния между ОПП ЛА и опасной зоной вихревого следа. Тактильная индикация призвана побудить пилота к принятию срочных мер для выполнения маневра уклонения ЛА от опасной зоны. При этом в распоряжении пилота есть время для маневра, заданное пользователем с учетом скорости перемещения ЛА. В зависимости от складывающейся ситуации, после получения первой индикации время упреждения может быть пилотом скорректировано, например, с помощью ручного регулирования, установлением цифрового параметра величины времени упреждения, или автоматического регулирования с установлением условия увеличения или уменьшения этого времени.

С увеличением указанных расстояний индикация прекращается, что свидетельствует о выходе ЛА из опасной для ЛА ситуации и способствует снятию напряжения у пользователя.

Целесообразно, согласно изобретению, визуализировать для пользователя информацию о взаимном расположении ОПП ЛА и опасной зоны в КП в прогнозируемый момент времени в устройстве 18 визуализации, например, на дисплее

или навигационной карте ЛА, а также для ограничения объема информации, не являющейся актуальной для пилота, визуализировать положение опасных зон только после пересечения их с ОПВ.

Согласно изобретению, устройство 10 определения параметров опасной зоны может быть выполнено согласно изобретению и содержать, как показано на схеме Фиг.3, блок 19 схематизации ЛА, принимающий информацию от устройства 1 системы предупреждения (Фиг. 2), выполненный любым известным образом и вычисляющий совокупность геометрических характеристик ЛА с учетом его конфигурации, блок 20, принимающий информацию от блока 19 и информацию от устройства 6 системы предупреждения (Фиг. 2) и определяющий дополнительные аэродинамические силы и моменты, индуцированные вихревым следом ГВ в точке пространства. Затем блок 21 определяет на основе заданного критерия опасности степень опасности аэродинамических возмущений в заданной точке пространства, блок 22 определяет точки пространства, принадлежащие опасной зоне вихревого следа, а блок 23 определяет геометрические характеристики опасной зоны как совокупности точек и осуществляет аппроксимацию границ опасной зоны для упрощения визуализации опасной зоны на дисплее. Информация о параметрах опасной зоны вихревого следа ГВ затем поступает в устройство 8 системы предупреждения и визуализируется в случае опасности попадания в нее ЛА.

На Фиг.4 показан дисплей 24 навигационной карты, который обычно применяется в ЛА для индикации курса ЛА и для изображения символов, генерируемых бортовой инерциальной навигационной системой, например, системой Airborne Inertial Navigation System (AINS), с изображением области 25 прогнозируемых положений ЛА и опасных зон 26, 27 вихревых следов ГВ в пространстве в прогнозируемый момент времени. Область 25 ОПВ ЛА может иметь вид, например, прямоугольника, размеры которого пропорциональны габаритам области возможного положения корпуса ЛА в пространстве. Границы области повышенного внимания на дисплее не показаны, так как, согласно изобретению, целесообразно, чтобы изображение опасных зон вихревых следов проецировалось на дисплее только в том случае, если опасные зоны пересекаются с областью повышенного внимания, одновременно с индикацией, например, звуковой, этого события. Поэтому можно считать, что на дисплее изображена область 28 повышенного внимания. Опасная зона 26,27 вихревых следов может иметь вид, например, круга или другой удобной для зрительного восприятия геометрической фигуры. При этом изображение может

сопровождаться визуальной индикацией, например, световой или цветной, областей 25, 26, 27 или их границ 29,30,31, а, в случае наступления события пересечения границы 29 области 25 ОПП ЛА с границей области, например, опасной зоны 26, - сопровождаться аварийной аудио-индикацией или тактильной индикацией.

Разумеется, хотя в описанном примере представлен лишь один из генераторов вихрей и визуализируется и индуцируется поведение лишь одной опасной зоны вихревого следа одного ГВ, вычисления по слежению за вихревым следом ГВ осуществляются в отношении всех ГВ, находящихся в окрестности ЛА, а отображаются на дисплее только зоны вихревых следов ГВ, попадания в которые следует избежать по причине их опасности для ЛА. При этом на основе оценки пилотом схемы расположения потенциально опасных зон на дисплее может быть принято адекватное решение о характере маневра ЛА, который приведет к выходу ЛА из области опасных вихревых следов.

Согласно изобретению, целесообразно сохранять, например, в системе записи информации, так называемого «черного ящика», текущую информацию о величине выбранного времени упреждения, координатах контрольной плоскости, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей в течение времени аварийной индикации события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, что позволит осуществлять мероприятия по установлению причин авиакатастроф, для целей оценки действий пилота ЛА в ситуации наличия в окружающем его пространстве вихревых следов, попадание в опасные зоны которых могли привести, например, к изменению конфигурации ЛА или изменению его траектории.

Способ и система предупреждения о возможности попадания ЛА в опасную зону вихревого следа ГВ согласно изобретению могут быть реализованы с использованием штатного бортового и наземного оборудования, например, бортовой инерциальной навигационной системы ЛА Airborne Inertial Navigation System (AINS), системы воздушных сигналов Air Data Computer System (ADC), доплеровского измерителя скорости сноса ЛА Doppler System (DS), радиолокатора переднего обзора ЛА Forward View Radar (FVR) и использованием информации, поступающей от управления воздушным движением Air Traffic Control (ATC), системы единой индикации United Indication System (UIS), мультиплексного канала информационного обмена Information Exchange Multiplex Channel (IEMC), а также от совместимых с

указанными системами информационных систем, применяемых на ЛА других стран, например, системы предотвращения столкновений Collision Avoidance System (TCAS), системы предупреждения об опасности движения Traffic Alert, США.

Кроме того, устройства системы предупреждения согласно изобретению могут быть локализованы отдельно на различных объектах системы управления движением или различных ЛА и ГВ с обеспечением информирования пользователя о результатах осуществления операционных вычислений с помощью индикации и визуализации их в месте размещения пользователя.

При этом пользователями такой информации могут быть как экипажи ЛА, так и диспетчерские службы аэродромов, кораблей, консультирующих экипажи ЛА при производстве полетов о рекомендуемой траектории полета или о необходимости маневра ЛА для исключения опасной полетной ситуации.

Для специалистов по управлению воздушным движением ясно, что систему предупреждения согласно изобретению можно реализовать и для выполнения функций управления полетами, так как отслеживание вихревой обстановки в окрестности наземных ГВ и летящих ГВ можно осуществлять с использованием систем предупреждения, размещенных автономно на ЛА, на кораблях, на аэродромах, объединенных в единую информационную систему, позволяющую предотвращать создание нештатных ситуаций, связанных с попаданием ЛА в опасные зоны вихревых следов различных ГВ. При этом в качестве ГВ могут быть ЛА различных типов, например, самолеты, вертолеты, беспилотные средства, морские суда, в том числе, авианосцы, наземные сооружения и другие объекты.

Специалистам в области авиации и авионики должно быть понятно, что в способ и систему предупреждения о возможности попадания ЛА в опасную зону вихревого следа ГВ согласно настоящему изобретению могут быть внесены улучшения и усовершенствования, не выходящие за рамки притязаний и формулы настоящего изобретения, например, связанные с различием условий применения системы, а также с усовершенствованием навигационных и информационных систем. Например, могут быть применены различные вычислительные алгоритмы, наиболее точно реализующие операции способа предупреждения согласно изобретению, применены различные способы индикации и визуализации информации, предоставляемой пользователю, улучшающие адекватность восприятия полученной пользователем информации, предусмотрено использование в операциях способа различных информационных потоков.

Промышленная применимость

Система предупреждения о возможности попадания ЛА в опасную зону вихревого следа ГВ целесообразно реализовывать в виде программ, адаптированных к типу ЛА, условиям эксплуатации ЛА, типу используемого на нем оборудования и совместимых с информационными системами управления воздушным движением.

Система предупреждения согласно изобретению может быть легко реализована с помощью известных вычислительных устройств, может быть использована для установки на различных летательных аппаратах, а также в различных тренажерах для обучения пилотов и диспетчеров действиям в условиях вихревой опасности.

Формула изобретения

1. Способ предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей, в котором:

- получают информацию о конфигурации, местонахождении и ориентации летательного аппарата относительно инерциальной системы координат в текущий момент времени;
- получают информацию о положении, геометрических и массовых характеристиках генератора вихрей относительно той же системы координат в текущий момент времени и о параметрах его движения;
- сохраняют информацию о положении и параметрах движения генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- получают информацию о параметрах окружающей среды в области совместного размещения летательного аппарата и генератора вихрей в текущий момент времени;
- определяют траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, в инерциальной системе координат в текущий момент времени;
- сохраняют информацию о координатах точек траектории и интенсивности вихревого следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, в инерциальной системе координат;
- выбирают время упреждения, в течение которого летательным аппаратом, возможно, по меньшей мере, выполнение маневра изменения траектории полета летательного аппарата, обеспечивающего уклонение летательного аппарата от вихревого следа генератора вихрей после предупреждения о возможности попадания в него;
- вычисляют упреждающее расстояние, равное расстоянию, преодолеваемому летательным аппаратом за время упреждения, моделируют контрольную плоскость, расположенную в пространстве перед летательным аппаратом перпендикулярно направлению его движения на упреждающем расстоянии от летательного аппарата, и определяют прогнозируемый момент времени пролета летательного аппарата через указанную контрольную плоскость в инерциальной системе координат;
- определяют геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, в прогнозируемый момент времени;

- определяют траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей, как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором вихрей, относительно инерциальной системы координат в прогнозируемый момент времени;
- определяют координаты точки пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с указанной контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени полета летательного аппарата через нее;
- формируют вокруг указанной точки пересечения опасную зону вихревого следа, как совокупность опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором, при попадании в которую у летательного аппарата параметры движения могут превысить допустимые пределы; формируют в указанной контрольной плоскости область прогнозируемых с учетом установленных нормативов производства полета положений летательного аппарата в прогнозируемый момент времени пересечения летательным аппаратом указанной контрольной плоскости; формируют вокруг области прогнозируемых положений область повышенного внимания, информация о попадании в которую опасной зоны вихревого следа будет предоставлена пользователю;
- определяют координаты точек области прогнозируемых положений летательного аппарата, точек области повышенного внимания и точек опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом;
- вычисляют расстояние от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа в контрольной плоскости;
- вычисляют расстояние от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа;
- осуществляют для пользователя индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа указанного генератора;
- осуществляют для пользователя аварийную индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа указанного генератора вихрей.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что:

- в качестве информации о положении, геометрических и массовых характеристиках и параметрах движения генератора вихрей предпочтительно используют информацию о

типе генератора вихрей, скорости его перемещения, угловой скорости и координатах точек его траектории;

- сохраняют информацию о координатах точек траектории, скорости перемещения и угловой скорости генератора вихрей в инерциальной системе координат;
- в качестве информации о параметрах окружающей среды предпочтительно используют информацию о величине и направлении локальной скорости ветра, профиле ветра по высоте, степени турбулентности, типе подстилающей поверхности;
- траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей в текущий момент времени, как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором, определяют на основе сохраненной информации о типе генератора вихрей, координатах точек его траектории, скорости перемещения и угловой скорости;
- моделирование контрольной плоскости осуществляют на основе информации о местонахождении, ориентации и скорости перемещения летательного аппарата и выбранной величине времени упреждения в текущий момент времени в инерциальной системе координат;
- определение геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых указанным генератором, осуществляют на основе сохраненной информации о координатах точек траектории и интенсивности следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности в инерциальной системе координат, информации о конфигурации, положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат;
- траекторию и интенсивность вихревого следа указанного генератора вихрей в прогнозируемый момент времени определяют на основе информации о траектории и интенсивности вихревого следа указанного генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых указанным генератором, в инерциальной системе координат;
- определение координат точек пересечения траектории вихревого следа указанного генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени осуществляют на основе информации о координатах контрольной плоскости в инерциальной системе координат, о траектории и интенсивности вихревого следа

указанного генератора вихрей в инерциальной системе координат в прогнозируемый момент времени;

- формирование в контрольной плоскости опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, формирование области прогнозируемых положений летательного аппарата и области повышенного внимания осуществляют на основе информации о координатах точек пересечения вихревого следа указанного генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени, информации о геометрических характеристиках опасной зоны вихревого следа указанного генератора, как совокупности опасных зон областей завихрения, генерируемых указанным генератором, информации о положении, ориентации, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета;

- определение координат области прогнозируемых положений летательного аппарата, координат области повышенного внимания и координат опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом, осуществляют на основе информации о координатах области повышенного внимания, области прогнозируемых положений летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета и опасной зоны вихревого следа в прогнозируемый момент времени и информации о координатах летательного аппарата и его положении, предпочтительно, углах тангажа, рыскания и крена летательного аппарата, в инерциальной системе координат в текущий момент времени.

3.Способ по любому из п.п.1-2, отличающийся тем, что операции способа осуществляют одновременно в отношении каждого из генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

4.Способ по любому из п.п.1-3, отличающийся тем, что осуществляют текущую коррекцию времени упреждения.

5.Способ по любому из п.п. 1-4, отличающийся тем, что осуществляют текущую коррекцию координат области прогнозируемых положений летательного аппарата.

6.Способ по любому из п.п. 1-5, отличающийся тем, что осуществляют текущую коррекцию координат области повышенного внимания.

7. Способ по любому из п.п.4-6, отличающийся тем, что текущую коррекцию осуществляют в режиме ручного регулирования.

8. Способ по любому из п.п. 4-6, отличающийся тем, что текущую коррекцию осуществляют в полуавтоматическом или автоматическом режиме.

9.Способ по любому из п.п. 1-8, отличающийся тем, что предоставляют пользователю информацию о координатах контрольной плоскости, области повышенного внимания, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

10.Способ по любому из п.п.1-9, отличающийся тем, что визуализируют для пользователя информацию о расположении в контрольной плоскости области прогнозируемых положений летательного аппарата, области повышенного внимания и опасных зон вихревого следа генераторов вихрей.

11.Способ по любому из п.п.1-10, отличающийся тем, что индикацию равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей в контрольной плоскости и/или аварийную индикацию равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей осуществляют с помощью индикации, выбранной из группы, включающей визуальную, аудио- и тактильную индикацию.

12. Способ по любому из п.п. 1-11, отличающийся тем, что сохраняют информацию о величине выбранного времени упреждения, координатах контрольной плоскости, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей в течение времени аварийной индикации события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

13.Система предупреждения о возможности попадания летательного аппарата в опасную зону вихревого следа генератора вихрей, включающая:

- устройство (1) слежения за параметрами летательного аппарата, способное принимать информацию о конфигурации, местонахождении и ориентации летательного аппарата относительно инерциальной системы координат в текущий момент времени;
- устройство (2)слежения за генератором вихрей, способное принимать информацию о положении, геометрических и массовых характеристиках генератора вихрей относительно той же системы координат в текущий момент времени, и о параметрах его движения;
- запоминающее устройство (3), способное сохранять информацию о положении и параметрах движения генератора вихрей в инерциальной системе координат;

- детектор (4) параметров среды, способный принимать информацию о параметрах окружающей среды в области совместного размещения летательного аппарата и генератора вихрей в текущий момент времени;
- устройство (5) слежения за вихревым следом, способное определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, в инерциальной системе координат;
- запоминающее устройство (6), способное сохранять информацию о координатах точек траектории и интенсивности следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, в инерциальной системе координат;
- устройство (7) выбора времени упреждения, в течение которого, по меньшей мере, возможно выполнение маневра изменения траектории полета летательного аппарата, обеспечивающего уклонение летательного аппарата от вихревого следа генератора вихрей после предупреждения о возможности попадания в него;
- устройство (8) моделирования контрольной плоскости, способное вычислять упреждающее расстояние, равное расстоянию, преодолеваемому летательным аппаратом за время упреждения, формировать контрольную плоскость, расположенную в пространстве перед летательным аппаратом перпендикулярно направлению его движения на упреждающем расстоянии от летательного аппарата, и определять прогнозируемый момент времени пролета летательного аппарата через контрольную плоскость в инерциальной системе координат;
- устройство (10) определения параметров опасной зоны, способное определять геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей, как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, в прогнозируемый момент времени;
- устройство (9) прогнозирования, способное определять траекторию вихревого следа генератора вихрей, как совокупность траекторий центров областей завихренности, генерируемых генератором, и интенсивность вихревого следа относительно инерциальной системы координат в прогнозируемый момент времени;
- устройство (11) вычисления точек пересечения, способное определять координаты точек пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с контрольной плоскостью в прогнозируемый момент времени пересечения летательным аппаратом указанной контрольной плоскости;
- устройство (12) формирования зон и областей, обеспечивающее: формирование вокруг точки пересечения траектории вихревого следа с контрольной плоскостью

опасной зоны вихревого следа, как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, при попадании в которую у летательного аппарата параметры движения могут превысить допустимые пределы; формирование в указанной контрольной плоскости области прогнозируемых положений летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета в прогнозируемый момент пересечения летательным аппаратом контрольной плоскости; формирование вокруг области прогнозируемых положений области повышенного внимания, информация о попадании в которую опасной зоны вихревого следа должна быть предоставлена пользователю;

- блок (13) перехода, способный вычислять координаты области прогнозируемых положений летательного аппарата, области повышенного внимания и опасной зоны (вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом);
- первый блок (14) проверки условия пересечения, способный определять расстояние от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа и фиксировать момент равенства его нулю;
- второй блок (15) проверки условия пересечения, способный определять расстояние от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа и фиксировать момент равенства его нулю;
- устройство (16) индикации, обеспечивающее индикацию события равенства нулю расстояния от области повышенного внимания до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей;
- устройство (17) аварийной индикации, обеспечивающее индикацию события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

14. Система по п.13, отличающаяся тем, что :

- устройство (1) слежения за параметрами летательного аппарата способно принимать информацию, по меньшей мере, о конфигурации, координатах, скорости перемещения, углах тангажа, рыскания и крена летательного аппарата;
- устройство (2) слежения за генератором вихрей способно принимать информацию, по меньшей мере, о типе генератора вихрей, скорости его перемещения, угловой скорости и координатах точек его траектории;
- детектор (4) параметров среды способен принимать информацию, по меньшей мере, о величине и направлении локальной скорости ветра, профиле ветра по высоте, степени турбулентности, типе подстилающей поверхности;

- устройство (5) слежения за вихревым следом способно определять траекторию и интенсивность вихревого следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности, на основе сохраненной информации о типе генератора вихрей, координатах точек его траектории, скорости перемещения и угловой скорости;
- устройство (8) моделирования контрольной плоскости способно моделировать контрольную плоскость на основе информации о местонахождении, ориентации и скорости перемещения летательного аппарата и величины времени упреждения;
- устройство (10) определения параметров опасной зоны способно определять геометрические характеристики опасной зоны вихревого следа генератора вихрей на основе сохраненной информации о координатах точек траектории и интенсивности следа генератора вихрей, информации о положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат;
- устройство (9) прогнозирования способно определять траекторию вихревого следа генератора вихрей и интенсивность вихревого следа на основе информации о траектории и интенсивности вихревого следа как совокупности траекторий центров областей завихренности, генерируемых генератором, в инерциальной системе координат;
- устройство (11) вычисления точек пересечения способно определять координаты точек пересечения траектории вихревого следа генератора вихрей с контрольной плоскостью на основе информации о координатах контрольной плоскости, траектории вихревого следа в инерциальной системе координат в прогнозируемый момент времени;
- устройство (12) формирования зон и областей способно формировать опасную зону вихревого следа, область прогнозируемых положений летательного аппарата, область повышенного внимания на основе информации о координатах точек пересечения вихревого следа генератора вихрей в прогнозируемый момент времени, информации о геометрических характеристиках опасной зоны, как совокупности опасных зон областей завихренности, генерируемых генератором вихрей, информации о положении, ориентации, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата с учетом установленных нормативов производства полета, в инерциальной системе координат;

- блок (13) перехода способен вычислять координаты области прогнозируемых положений летательного аппарата, области повышенного внимания и опасной зоны вихревого следа в системе координат, связанной с летательным аппаратом, на основе информации о координатах области повышенного внимания, области прогнозируемых положений и опасной зоны вихревого следа в прогнозируемый момент времени в инерциальной системе координат и информации о координатах летательного аппарата и его положении, предпочтительно, углах тангажа, рыскания и крена, в инерциальной системе координат в текущий момент времени.

15. Система по любому из п.п. 13 -14, отличающаяся тем, что содержит устройство (2) слежения за генератором вихрей, запоминающие устройства (3,6), устройство (5) слежения за вихревым следом, устройство (10) определения параметров опасной зоны, устройство (9) прогнозирования, устройство (11) вычисления точек пересечения, устройство (12) формирования зон и областей, первый и второй блоки (13,14) проверки условия пересечения, устройство индикации и устройство аварийной индикации, способные одновременно обеспечить выполнение своих функций в отношении каждого из генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата.

16. Система по любому из п.п. 13-15, отличающаяся тем, что устройство (7) выбора времени упреждения выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции времени упреждения.

17. Система по любому из п.п.13-16, отличающаяся тем, что устройство (12) формирования зон и областей выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции координат области прогнозируемых положений летательного аппарата.

18. Система по любому из п.п.13-17, отличающаяся тем, что устройство (12) формирования зон и областей выполнено с возможностью осуществления текущей коррекции координат области повышенного внимания.

19. Система по любому из п.п.16-18, отличающаяся тем, что коррекцию осуществляют в режиме ручного регулирования.

20. Система по любому из п.п. 16-18, отличающаяся тем, что коррекцию осуществляют в полуавтоматическом или автоматическом режиме.

21. Система по любому из п.п. 13-20, отличающаяся тем, что содержит устройство (18) визуализации для пользователя информации о расположении в контрольной плоскости области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей.

22. Система по любому из п.п. 13-21, отличающаяся тем, что устройство (16) индикации и устройство (17) аварийной индикации выбраны из группы, включающей устройства визуальной, аудио- и тактильной индикации.

23. Система по любому из п.п. 13-22, отличающаяся тем, что в качестве устройства (10) определения параметров опасной зоны вихревого следа генератора вихрей содержит устройство, включающее:

- блок (19) схематизации летательного аппарата, способный вычислять совокупность геометрических характеристик летательного аппарата, необходимых для расчета действующих на него дополнительных аэродинамических сил и моментов, индуцированных вихревым следом генератора вихрей;
- блок (20) определения дополнительных действующих на летательный аппарат в заданной точке пространства аэродинамических сил и моментов, индуцированных вихревым следом генератора вихрей, способный вычислять их на основе сохраненной информации о координатах точек траекторий центров завихренности и интенсивности следа генератора вихрей, как совокупности траекторий центров областей завихренности в инерциальной системе координат, информации о положении, скорости перемещения и угловой скорости летательного аппарата в инерциальной системе координат и геометрических характеристиках летательного аппарата;
- блок (21) определения опасности аэродинамических возмущений в заданной точке пространства, способный производить оценку опасности возмущений по критерию опасности, установленному пользователем;
- блок (22) определения множества точек пространства, в которых дополнительные аэродинамические силы и моменты, индуцированные вихревым следом генератора вихрей, являются опасными, способный определять координаты точек пространства, принадлежащих опасной зоне, на основе отбора их по критерию опасности, установленному пользователем;
- блок (23) определения геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа, способный вычислять их на основе информации о координатах точек, принадлежащих опасной зоне.

24. Система по любому из п.п. 13-23, отличающаяся тем, что в качестве критерия опасности выбрана допустимая величина угла крена летательного аппарата.

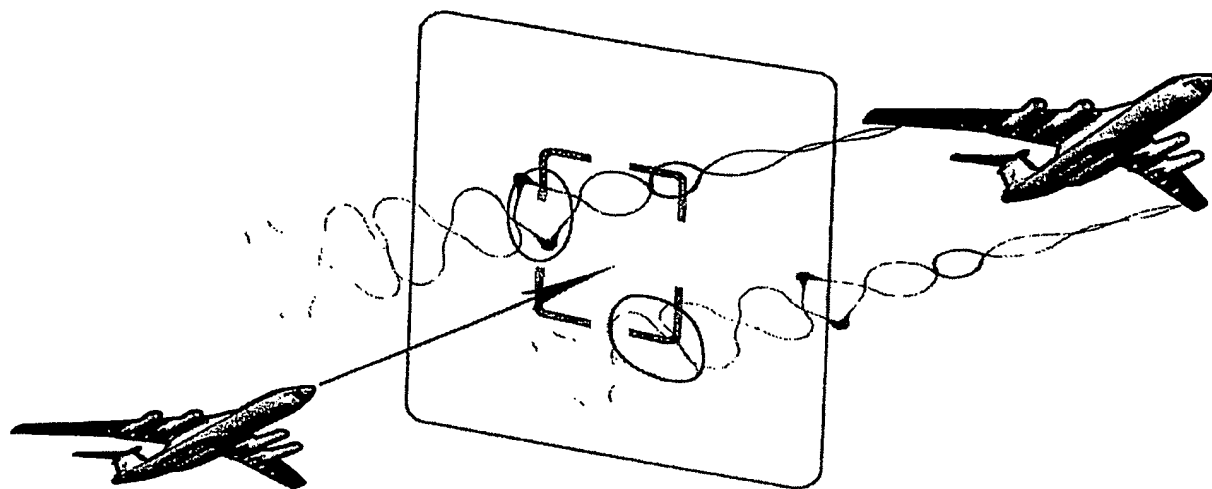
25. Система по любому из п.п. 13-23, отличающаяся тем, что в качестве критерия опасности выбрана допустимая величина момента крена, индуцируемого вихревым следом.

26. Система по любому из п.п. 23-25, отличающаяся тем, что блок (23) определения геометрических характеристик опасной зоны вихревого следа способен аппроксимировать границу опасной зоны.

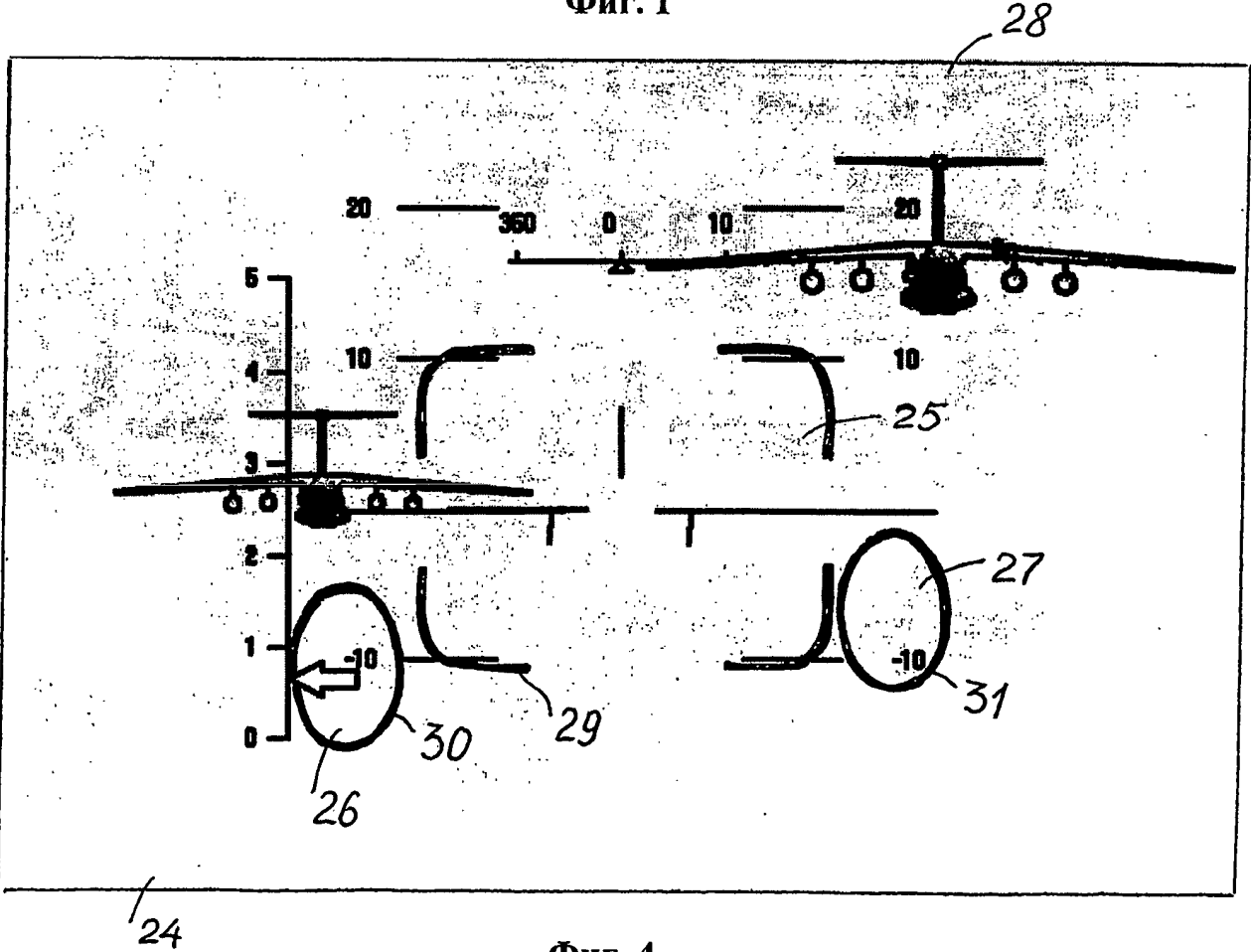
27. Система по любому из п.п. 13-26, отличающаяся тем, что устройство (5) слежения за вихревым следом и устройство (9) прогнозирования содержат программируемый компонент, а устройство (10) определения параметров опасной зоны реализовано в программном обеспечении программируемого компонента.

28. Система по любому из п.п. 13-27, отличающаяся тем, что устройство (10) определения параметров опасной зоны содержит базу данных характеристик опасных зон вихревых следов различных типов генераторов вихрей.

29. Система по любому из п.п. 13-28, отличающаяся тем, что содержит устройство сохранения и/или передачи пользователю информации о величине времени упреждения, координатах контрольной плоскости, области прогнозируемых положений летательного аппарата и опасных зон вихревых следов генераторов вихрей, находящихся в окрестности летательного аппарата, по меньшей мере, в течение времени аварийной индикации события равенства нулю расстояния от области прогнозируемых положений летательного аппарата до опасной зоны вихревого следа генератора вихрей.

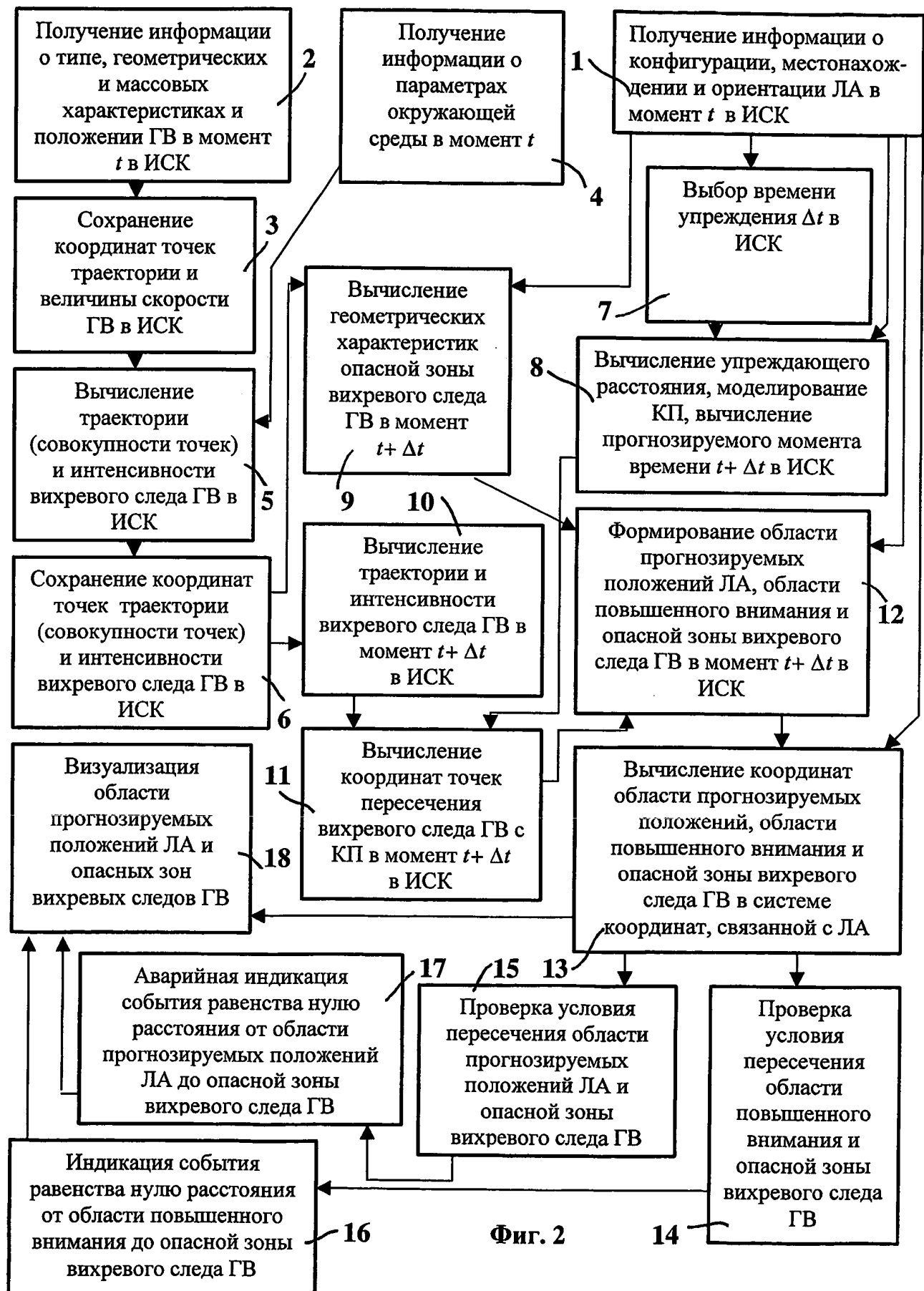


Фиг. 1



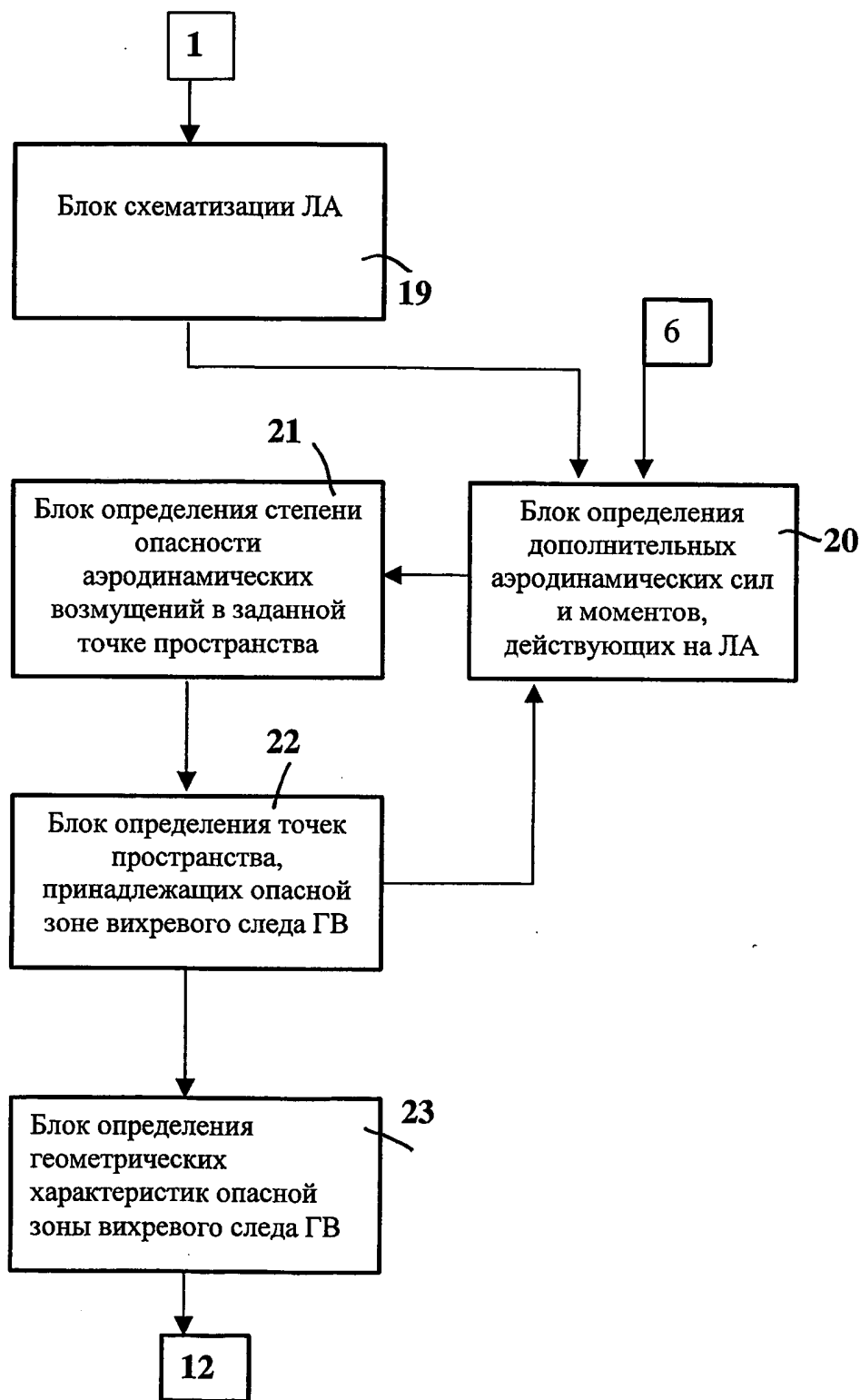
Фиг. 4

2 / 3



Фиг. 2

3 / 3



Фиг. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2003/000332

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 13/93, 17/93, G01C 23/00, G06F 17/00 // G06F 165: 00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S 13/00-13/95, 17/00-17/95, G01C 23/00, G01M 9/00, 9/06, 9/08, G01W 1/00, 1/02, B64F 1/00, B64C 3/00, G06F 17/00, G06F 165: 00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5724040 A (NORTHROP GRUMMAN CORPORATION) Mar. 3, 1998	1-29
A	DE 10039109 A1 (SCHANZER, GUNTHER) 28. 02. 2002	1-12
A	US 4137764 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF TRANSPORTATION) Feb. 6, 1979	13-29
A	RU 2088487 C1 (LETNO-ISSLEDOVATELSKY INSTITUT IM. M.M. GROMOVA), 27.08.1997	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2004 (14.04.2004)

Date of mailing of the international search report

22 April 2004 (22.04.2004)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.